



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

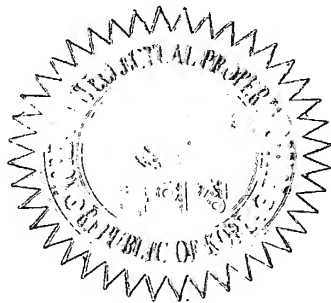
This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

출원 번호 : 10-2001-0012806
Application Number

출원 년 월 일 : 2001년 03월 13일
Date of Application MAR 13, 2001

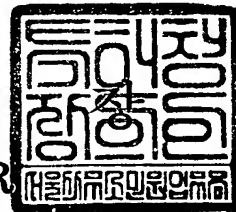
출원인 : 주식회사 솔루션닉스
Applicant(s) SOLUTIONIX CORP.



2004 년 12 월 15 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2001.03.13
【발명의 명칭】	다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치 및 방법
【발명의 영문명칭】	Apparatus And Method For Measuring Three Dimensional Shape With Multi-Stripe Patterns
【출원인】	
【명칭】	주식회사 솔루션닉스
【출원인코드】	1-2000-040909-5
【대리인】	
【성명】	김영철
【대리인코드】	9-1998-000040-3
【포괄위임등록번호】	2000-049757-1
【대리인】	
【성명】	김순영
【대리인코드】	9-1998-000131-1
【포괄위임등록번호】	2000-049754-9
【발명자】	
【성명의 국문표기】	장민호
【성명의 영문표기】	CHANG, Min Ho
【주민등록번호】	681012-1068311
【우편번호】	137-030
【주소】	서울특별시 서초구 잠원동 한신아파트 351-312호
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 김영철 (인) 대리인 김순영 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	20 면 20,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원

【심사청구료】	11	항	461,000	원
【합계】	510,000		원	
【감면사유】	소기업 (70%감면)			
【감면후 수수료】	153,000		원	
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통 2. 소기업임을 증명하는 서류_1통			

【요약서】**【요약】**

본 발명은 3차원 측정시 한 번의 촬영에 다수 개의 줄무늬가 투영되는 다중 줄무늬로 이루어진 패턴 필름을 측정 대상이 되는 물체에 투영하고, 이를 촬영함으로써, 보다 신속하고 정밀한 3차원 측정이 가능하도록 한 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치 및 방법에 관한 것으로, 단일 줄무늬를 이용한 종래의 3차원 측정 장치에서는 패턴 필름의 길이가 길어 이송 방향에 대한 줄무늬 패턴의 평행도를 유지하기 어려운 단점이 있으며, 전체적으로 패턴 필름의 길이가 길어지기 때문에 측정 장치의 크기가 커지고, 측정 시간이 길어지는 단점이 있다.

따라서, 본 발명은 3차원 측정시 측정 대상물의 전체 영역에 한 번에 투영되는 단일 줄무늬 패턴 대신에 한 번에 다수 개의 줄무늬가 투영되는 다중 줄무늬 패턴을 줄무늬 형태에 따라 이송시키면서 측정 대상물에 투영하여 3차원 측정을 수행하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치 및 방법을 제공함으로써, 보다 신속하고 정밀한 3차원 측정이 가능해 지고, 해당 3차원 측정 장치의 전체적인 크기와 무게 및 제조 원가를 줄일 수 있게 됨과 동시에 측정 시간을 단축할 수 있게 된다.

【대표도】

도 4

【색인어】

3차원 측정, 다중 줄무늬, 패턴 필름, 투영, 촬영, 합성

【명세서】

【발명의 명칭】

다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치 및 방법{Apparatus And Method For Measuring Three Dimensional Shape With Multi-Stripe Patterns}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 3차원 측정 장치의 일반적인 구성 블록도.

도 2는 종래의 3차원 측정 장치에 사용되는 단일 줄무늬로 이루어진 패턴 필름을 예시한 도면.

도 3은 도 2의 단일 줄무늬 패턴 필름을 이송시키면서 각 구간별로 측정 대상물에 투영해서 촬영한 영상을 예시한 도면.

도 4는 본 발명에 따른 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치를 이루는 주요 구성부의 공간적인 배치 상태를 예시한 도면.

도 5는 본 발명의 3차원 측정 장치에 사용되는 다중 줄무늬로 이루어진 패턴 필름을 예시한 도면.

도 6은 도 5의 다중 줄무늬 패턴 필름을 이송시키면서 측정 대상물에 투영해서 촬영한 영상을 예시한 도면.

도 7은 패턴 필름을 이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭을 너무 짧게 한 경우에 촬영된 영상으로, 패턴 필름의 일부 구간을 투영하지 않은 영역이 발생함을 예시한 도면.

도 8은 투영장치와 촬영장치를 잘못 배치한 경우에 촬영된 영상으로, 다중 줄무늬 구간의 경계가 곡선으로 나타남을 예시한 도면.

도 9는 도 8과 같이 각 줄무늬 구간의 경계가 곡선으로 나타나는 현상을 방지하기 위해 본 발명에서 제안하는 투영장치와 촬영장치의 상대적인 위치를 예시한 도면.

도 10은 본 발명에서 물리적 수치를 이용하여 추출한 각 줄무늬 구간 사이의 경계에 대한 관계를 예시한 도면.

도 11은 본 발명에서 연속된 영상을 비교하여 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하는 방법을 예시한 도면.

도 12는 본 발명에서 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각을 선별하는 과정을 예시한 도면.

도 13은 도 12에서 선별한 영상 조각들을 합성하여 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 영상을 얻어내는 과정을 예시한 도면.

* 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 *

10 : 측정 대상물

21 : 패턴 필름

22 : 투영수단(22)

23 : 이송수단(23)

24 : 촬영수단(24)

25 : 제어부(25)

26 : 연산부(26)

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<19> 본 발명은 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 3차원 측정시 한 번의 촬영에 다수 개의 줄무늬가 투영되는 다중 줄무늬로 이루어진 패턴 필름을 측정 대상이 되는 물체에 투영하고, 이를 촬영함으로써, 보다 신속하고 정밀한 3차원 측정이 가능하도록 한 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치 및 방법에 관한 것이다.

<20> 일반적으로, 3차원 측정에 보편적으로 이용되는 방식으로는 1대의 카메라와 1대의 빛(레이저, 가시광선 등)을 투영하는 투영장치를 결합하여 해당되는 측정 대상물을 측정하는 방식과, 투영장치를 사용하지 않고 다수개의 촬영장치인 카메라만을 이용하는 스테레오 비전(Stereo vision) 방식이 있으며, 국내 특허 출원번호 '10-1999-0028254'호에서는 하나의 점을 투영하는 대신 줄무늬를 투영하거나 LCD 프로젝터를 이용하여 공간 부호화된 빛을 투영함으로써 한번의 촬영에서 보다 많은 점의 좌표를 얻어 측정 대상물을 측정하는 방식이 설명되어 있다.

<21> 여기서, 줄무늬를 투영하여 측정하는 방식은 다수 개의 줄무늬를 투영한 후, 해당 줄무늬가 투영된 영상을 카메라로 촬영하여 3차원 형상을 측정하게 되며, 이때, 촬영된 영상에 대하여 모아레(Moire) 무늬를 이용하거나 광삼각법의 원리를 이용한 연산을 통해 3차원 형상 정보를 얻어낸다.

<22> 한편, 전술한 3차원 측정 장치의 일반적인 구성은 첨부된 도면 도 1에 도시된 바와 같이, 3차원 측정하고자 하는 측정 대상물(10)과, 해당 측정 대상물(10)에 투영하기 위한 다수 개의 줄무늬로 이루어진 패턴 필름(21)과, 해당 패턴 필름(21)을 측정 대상물(10)에 투영하여 투영수단(22)과, 해당 투영수단(22)으로 패턴 필름(21)을 이송시켜 주는 이송수단(23)과, 측정 대상물(10)에 투영된 영상을 촬영하는 한 대 또는 다수의 카메라로 구성된 촬영수단(24)과, 해당 이송수단(23)과 투영수단(22) 및 촬영수단(24)의 작동을 제어하는 제어부(25)와, 촬영수단(24)에 의해 촬영된 영상을 분석하여 3차원 형상 정보를 얻어내는 연산부(26)를 구비하여 이루어지는데, 이때, 해당 이송수단(23)을 제어하여 패턴 필름(21)을 투영수단(22)에 이송시켜 주면서 투영 및 촬영을 반복 수행함으로써, 여러 가지의 줄무늬를 투영하여 촬영한 영상으로부터 3차원 형상 정보인 측정 형상을 얻을 수 있게 된다.

<23> 여기서, 투영수단(22)은 주로 광원, 필름, 렌즈로 구성된 슬라이드 프로젝터(환등기)와 유사한 원리를 이용하여 이송수단(23)에 의해 이송되는 패턴 필름(21)을 이루는 일련의 줄무늬를 투영하게 되는데, 이때, 해당 이송수단(23)은 다수 개의 줄무늬로 이루어진 패턴 필름(21)을 투영수단(22)의 광원과 렌즈 사이에 위치하도록 기계적으로 이송시키게 된다.

<24> 그리고, 패턴 필름(21)이란 다수 개의 줄무늬 패턴을 가로 방향으로 길게 인쇄한 필름을 의미하는 것으로, 이와 같은 기능은 필름 이외에 유리나 금속판 등에 해당 패턴을 천공한 형태로도 구현할 수 있으며, 본 발명에서는 이러한 형태를 통칭하여 패턴 필름(21)이라 한다.

<25> 한편, 종래에는 다수 개의 줄무늬 패턴을 투영하기 위해 기계적으로 패턴 필름(21)을 이송하는 대신에 즉, 슬라이드 프로젝터 대신에 전자식인 LCD 프로젝터를 이용할 수도 있으나, 해당 LCD 프로젝터를 이루는 LCD의 소자들 사이에 빛을 투영하지 못하는 구간이 존재하기 때문에 줄무늬 간격 조절이 자유롭지 못할 뿐 아니라, 전기적 신호에 존재하는 지터(Jitter) 잡음으로

인해 투영된 영상이 떨려(또는 흔들려) 정밀한 3차원 형상 정보를 얻을 수 없다는 문제가 있으므로 주로 기계식 투영장치를 사용하고 있는 실정이다.

<26> 또한, 투영수단(22)을 기계식 투영장치로 구현한 경우 패턴 필름(21)을 이송하는 이송수단(23) 역시 기계식 이송장치로 구현하게 되며, 이때, 패턴 필름(21)을 이송하는 데 사용되는 내부 이송방식은 직선 이송식과 회전 이송식이 있는데, 종래의 이송수단(23)에서는 패턴 필름(21)을 1축 레일 상을 움직이는 이송블록에 고정하고, 모터를 이용하여 이송블록을 축 방향으로 이송시킴으로써, 해당 이송블록에 고정된 패턴 필름(21)을 축 방향으로 이송하는 직선 이송식을 주로 사용하고 있다.

<27> 그리고, 회전 이송식은 회전할 수 있는 로터리 휠에 패턴 필름(21)을 장착하고, 회전의 중심에 광원을 고정하여 로터리 휠을 회전하면서 패턴을 투영하는 방식으로, 이는 패턴 필름(21)이 곡면을 형성하므로 초점이 정확하지 않고, 이송장치의 크기가 커지는 단점이 있기 때문에 널리 사용되지 못하고 있다.

<28> 또한, 종래의 3차원 측정 장치에서 사용되는 패턴 필름(21)은 첨부된 도면 도 2에 예시한 바와 같이, 다수 개(5개)의 구간으로 이루어져 있고, 각 구간마다 서로 다른 줄무늬가 있으며, 모든 줄무늬는 서로 평행하게 형성된 것으로, 종래의 3차원 측정 장치에서는 이러한 패턴 필름(21)을 이송수단(23)을 이용하여 줄무늬와 평행한 방향으로 이송시키면서 각 구간별로 측정 대상물(10)에 줄무늬를 투영하고, 해당 줄무늬가 투영된 측정 대상물(10)을 촬영하게 되는데, 도 3은 도 2에 예시한 패턴 필름(21)을 이송시키면서 각 구간별로 측정 대상물(10)에 투영해서 촬영한 영상을 예시한 도면이다. 여기서, 도 2에 도시한 각 구간의 줄무늬와 같이 3차원 측정시 한 번의 촬영에 하나의 줄무늬만이 투영되는 줄무늬를 설명의 편의를 위해 이하에서는 '단일 줄무늬'라 칭하기로 한다.

<29> 이러한 종래의 3차원 측정 장치에서는 각 구간의 단일 줄무늬 패턴이 측정하고자 하는 측정 대상물(10)에 전체적으로 한 번에 투영되도록 하여 촬영하고 있는데, 이때, 3차원 측정 장치에서 사용되는 패턴 필름(21)은 각 구간의 단일 줄무늬가 가로 방향으로 길게 형성되어 있으며, 예를 들어, 한 구간이 35mm인 단일 줄무늬 패턴을 사용하고 10개의 단일 줄무늬 구간을 사용한다고 가정하면 총 350mm 길이의 패턴 필름(21)이 필요하며, 이렇게 길이가 긴 패턴 필름(21)을 사용하는 경우 다음과 같은 단점들이 있다.

<30> 즉, 전술한 바와 같이, 단일 줄무늬를 이용한 종래의 3차원 측정 장치에서는 패턴 필름(21)의 이송 방향과 평행도가 측정 정밀도에 있어 매우 중요한데, 패턴 필름(21)의 길이가 길어질수록 이송 방향에 대한 단일 줄무늬 패턴의 평행도를 유지하기 어려운 단점이 있으며, 전체적으로 패턴 필름(21)의 길이가 길어지기 때문에 측정 장치의 크기가 커지고, 측정 시간이 길어지는 단점이 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<31> 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로 그 목적은, 3차원의 영상을 측정하는데 있어서, 측정 대상물의 전체 영역에 한 번에 투영되는 단일 줄무늬 패턴 대신에 한 번에 다수 개의 줄무늬가 투영되는 다중 줄무늬 패턴을 측정 대상물에 투영하고, 이를 촬영함으로써, 보다 신속하고 정밀한 3차원 측정이 가능한 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

<32> 본 발명의 다른 목적은, 다중 줄무늬 패턴을 이용하여 3차원 측정이 가능하게 함으로써, 3차원 측정 장치의 전체적인 크기와 무게 및 제조 원가를 줄임과 동시에 측정 시간을 단축할 수 있도록 하는데 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<33> 상술한 바와 같은 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 특징은, 측정 대상물에 줄무늬 패턴을 투영하여 3차원 형상을 측정하는 3차원 측정 장치에 있어서, 3차원 측정시의 대응성을 제공하기 위해 한 번 촬영시의 다중 줄무늬 패턴을 측정 대상물에 투영하는 투영수단과; 상하 또는 좌우 방향으로 다수 개의 짧은 줄무늬 구간으로 이루어져, 상기 투영수단에서 투영할 다중 줄무늬 패턴을 제공하는 패턴 필름과; 상기 패턴 필름을 줄무늬 방향에 따라 상기 투영수단으로 이송시켜 주는 이송수단과; 상기 투영수단에 의해 다중 줄무늬 패턴이 투영된 측정 대상물을 소정 시간 간격으로 촬영하는 촬영수단과; 상기 투영수단과 이송수단 및 촬영수단의 작동을 제어하는 제어부와; 상기 촬영수단에 의해 촬영된 영상들로부터 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 영상을 추정한 후, 추정 영상으로부터 3차원 형상 정보를 얻어내는 연산부를 포함하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치를 제공하는데 있다.

<34> 여기서, 상기 연산부는, 상기 촬영된 영상에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을 조각으로 구분해서 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각을 선별한 후, 선별한 영상 조각들을 합성하여 단일 줄무늬를 투영한 경우의 촬영 영상을 추정하는 것을 특징으로 하며, 상기 촬영수단은, 투영수단의 상단 또는 하단에 위치시키되, 상기 투영수단의 광축과 자신의 광축을 패턴 필름의 다중 줄무늬 패턴에 수직한 평면 상에 위치시키고, 상기 투영수단의 렌즈

중심과 자신의 렌즈 중심을 연결하는 직선이 상기 패턴 필름이 위치한 평면과 평행하게 위치시키는 것을 특징으로 한다.

<35> 그리고, 상술한 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치에서, 상기 패턴 필름을 이루는 짧은 줄무늬 한 구간의 폭은, 측정 대상물의 전체 투영 영역보다는 작고, 상기 이송수단에 의해 이송되는 패턴 필름의 이송 거리(이송수단의 패턴 필름 이송속도×촬영수단의 연속된 촬영 시간 간격)보다는 길게 하며, 상기 패턴 필름의 이송 거리와 모션 블러 현상이 발생하는 구간의 폭(촬영수단의 셔터속도×패턴 필름의 이송속도)을 합산하여 얻은 결과 값보다는 길게 하는 것을 특징으로 한다.

<36> 한편, 본 발명의 다른 특징은, 측정 대상물에 줄무늬 패턴을 투영하여 3차원 형상을 측정하는 3차원 측정 방법에 있어서, 다수 개의 짧은 줄무늬 구간으로 이루어진 패턴 필름을 줄무늬 방향으로 이송시키는 과정과; 상기 줄무늬 방향으로 이송되는 패턴 필름을 측정 대상물에 투영하여 다중 줄무늬 패턴이 투영된 측정 대상물을 소정 시간 간격으로 촬영하는 과정과; 상기 소정 시간 간격으로 촬영한 영상들로부터 단일 줄무늬를 투영하여 촬영한 경우의 영상들을 추정하여, 상기 측정 대상물에 대한 3차원 형상 정보를 얻어내는 과정을 포함하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 방법을 제공하는데 있다.

<37> 이때, 상기 촬영한 영상들로부터 단일 줄무늬를 투영하여 촬영한 경우의 영상들을 추정하여 3차원 형상 정보를 얻어내는 과정은, 다중 줄무늬 패턴을 투영하여 촬영한 영상들에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을 조각으로 구분하는 단계와; 상기 구분한 영상 조각 중에서 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각을 선별하는 단계와; 선별한 영상 조각들을 합성하여 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<38> 나아가, 상기 촬영한 영상들에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을 조각으로 구분하는 단계는, 물리적인 수치를 이용하여 각 줄무늬 사이의 경계를 추출하거나, 소정 시간 간격으로 연속 촬영한 영상 중에서 기준이 되는 영상의 줄무늬와 수직한 방향으로 영역을 이동하면서, 각 영역에 대하여 다음번 영상의 동일 영역에서 밝기 및 색상 정보를 비교하여 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하는 것을 특징으로 하며, 상기 선별한 영상 조각들을 합성하여 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 추정하는 단계는, 각 영상 조각들의 영상 좌표를 동일하게 유지한 상태에서 어느 하나의 영상 위에 합성하되, 모션 블러 형상을 제거하기 위해 각 영상 조각 사이에서 겹치는 영역에 대해서는 각 영상 조각의 경계 부분이 아닌 중간 부분에 해당되는 영역을 취하여 합성하는 것을 특징으로 한다.

<39> 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세하게 설명하면 다음과 같다.

<40> 먼저, 본 발명에 따른 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치를 이루는 주요 구성부의 공간적인 배치 상태는 첨부한 도면 도 4에 도시한 바와 같은데, 여기서, 패턴 필름(21)은 첨부한 도면 도 5에 예시한 바와 같은 짧은 줄무늬가 좌우 방향으로 다수 개 형성되어 있으며, 이송수단(23)에 의해 해당 줄무늬의 길이 방향(좌우 방향)으로 패턴 필름(21)이 이송되고, 촬영수단(24)을 이루는 카메라는 투영수단(22)인 프로젝터의 상단에 위치한다.

<41> 하지만, 상술한 도 4의 3차원 측정 장치에 대한 배치 상태는 설명의 편의를 위한 배치로서, 촬영수단(24)을 이루는 카메라가 투영수단(22)인 프로젝터의 하단에 위치할 수 있을 뿐 아니라 상단 또는 하단의 좌측이나 우측에 위치할 수 있으며, 패턴필름을 이루는 다중 줄무늬가 상하 방향으로 형성되어 있는 경우에는 해당 패턴 필름(21)을 상하 방향으로 이송하게 된다.

- <42> 또한, 본 발명에서 설명하고자 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치의 구성은 도 1에 도시된 종래의 구성과 개념적으로 동일한 구성을 가지므로, 동일한 도면 부호를 사용하였지만, 본 발명에 따른 각 구성부의 기능은 다음과 같다.
- <43> 해당 패턴 필름(21)은 도 5에 예시한 바와 같은 형태를 갖되, 종래의 패턴 필름(21)에 비해 짧은 줄무늬 구간으로 이루어진다. 여기서, 도 5에 예시한 짧은 줄무늬와 같이 3차원 측정시 한 번의 촬영에 다수 개의 줄무늬가 투영되는 줄무늬를 설명의 편의를 위해 이하에서는 '다중 줄무늬'라 칭하기로 한다.
- <44> 해당 투영수단(22)은 3차원 측정시의 대응성을 제공하기 위해 한 번 촬영시의 다중 줄무늬 패턴을 측정 대상물(10)에 투영하고, 해당 이송수단(23)은 패턴 필름(21)을 줄무늬의 형태에 따라 상하 또는 좌우 방향으로 투영수단(22)에 이송시켜 주며, 해당 촬영수단(24)은 투영수단(22)에 의해 다중 줄무늬 패턴이 투영된 측정 대상물(10)을 소정 시간 간격으로 촬영하여 연산부(26)에 전달해 준다.
- <45> 그리고, 제어부(25)는 투영수단(22)과 이송수단(23) 및 촬영수단(24)의 작동을 제어하며, 해당 연산부(26)는 촬영수단(24)으로부터 전달되는 촬영 영상들로부터 도 3과 같이 단일 줄무늬를 투영하여 촬영한 경우의 영상을 추정하고, 추정한 영상을 조합하여 측정 대상물(10)에 대한 3차원 형상 정보를 얻어낸다.
- <46> 이와 같이 구성된 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치에서는 상술한 다중 줄무늬 구간으로 이루어진 패턴 필름(21)을 이송수단(23)을 이용하여 줄무늬의 형태에 따라 좌우 또는 상하 방향으로 이송시키면서 측정 대상물(10)에 투영하고, 해당 다중 줄무늬가 투영된 측정 대상물(10)을 촬영하게 되는데, 도 6은 도 5에 예시한 바와 같이 다중 줄무늬 구간으로 이

투어진 패턴 필름(21)을 이송시키면서 측정 대상물(10)에 투영하여 촬영한 영상을 예시한 도면이다.

<47> 이때, 도 6에 예시된 영상을 살펴보면, 도 3에 예시된 종래의 3차원 측정 장치에 의해 촬영된 영상(즉, 가로 방향으로 길게 형성된 다중 줄무늬를 투영해서 촬영한 영상)과는 달리 하나의 영상에 여러 구간의 다중 줄무늬가 동시에 투영된 상태를 나타내고 있는데, 연속적으로 촬영된 영상을 비교해 보면 다중 줄무늬를 이루는 패턴 필름(21)의 각 구간은 좌측에서 우측 방향으로 이송되면서 측정 영역인 측정 대상물(10)을 한 번 이상씩 투영하는 것을 알 수 있으며, 각 영상을 조합하여 도 3에서와 같이 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 영상을 추정할 수 있다.

<48> 그리고, 상술한 바와 같이 패턴 필름(21)을 이루는 다중 줄무늬의 각 구간을 좌측에서 우측 방향으로 이송하면서 측정 영역인 측정 대상물(10)에 한 번 이상씩 투영한 영상을 촬영하는 경우 해당 패턴 필름(21)을 이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭은 측정 대상물(10)의 전체 투영 영역보다는 작고, 패턴 필름(21)의 이송속도(v)와 연속된 촬영 사이의 시간 간격(Δt)을 고려하여 결정하게 된다.

<49> 이는 패턴 필름(21)을 이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭을 너무 짧게 하고, 해당 패턴 필름(21)의 이송속도를 너무 빠르게 하거나, 시간 간격을 너무 길게 하면(즉, 투영된 영상에 대한 촬영을 너무 천천히 하면), 도 7에 예시한 바와 같이 측정 영역에 있는 측정 대상물(10)의 일부 영역 중에 패턴 필름(21)의 일부 구간을 투영하지 않은 영역이 발생하기 때문이다.

<50> 따라서, 본 발명에 따른 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치에서는 패턴 필름(21)을 이루는 한 구간을 이송하면서 측정 영역에 있는 측정 대상물(10)의 모든 영역을 모두

한 번 이상씩 투영한 영상을 촬영하기 위해서는 아래의 수학적 식 1과 같은 관계를 유지해야 한다.

<51> 【수학적 식 1】 $D > Dm (= \Delta t \times v)$

<52> 여기서, 'D'는 패턴 필름(21)을 이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭을 의미하고, 'Dm'은 패턴 필름(21)의 이송거리를 의미한다.

<53> 예를 들어, 1초에 20번 촬영을 하고, 패턴 필름(21)의 이송속도(v)가 '100mm/sec'라고 가정하면, 해당 패턴 필름(21)을 이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭은 상술한 수학적 식 $1((1/20)\text{sec} \times 100\text{mm/sec})$ 에 의해 '5mm'보다 큰 폭으로 결정해야 하며, 해당 패턴 필름(21)이 10개의 다중 줄무늬 패턴(구간)을 사용한다고 가정하면 '5mm'의 구간이 10개 있는 즉, 총 길이가 '50mm'보다 소정 길이만큼 긴 패턴 필름(21)을 필요로 하게 되며, 이는 종래의 기술을 적용할 경우('350mm'의 패턴 필름을 필요로 하게 됨)에 비해 매우 짧은 길이의 패턴 필름(21)을 사용할 수 있다.

<54> 하지만, 촬영수단(24)을 이루는 카메라(즉, 촬영장치)의 셔터속도(Δt_s)가 너무 낮거나, 패턴 필름(21)의 이송속도(v)가 너무 빠르면 투영된 영상에서 각 구간에 대한 경계부분의 줄무늬가 뚜렷하지 않은 현상(motion blur ; 이하, '모션 블러 현상'이라 칭함)이 발생하기 때문에 투영된 영상에서 경계부분의 줄무늬를 선명하게 하기 위해서는 패턴 필름(21)을 이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭을 상술한 수학적 식 1에 의해 산출된 폭보다 조금 넓게 하는 것이 바람직하다.

<55> 이를 보다 상세히 설명하면, 투영된 영상에서 모션 블러 현상이 발생하는 구간의 폭(D_b)은 아래의 수학적 식 2에 의해 산출할 수 있다.

<56> **【수학식 2】** $Db = \Delta ts \times v$

<57> 따라서, 상술한 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치에서는 여러 구간의 다중 줄무늬가 동시에 투영된 영상의 모든 구간에서 선명한 줄무늬를 얻기 위해서는 아래의 수학식 3과 같이 모션 블러 현상이 발생하는 구간의 폭(Db)과 패턴 필름(21)의 이송거리(Dm)를 고려하여 패턴 필름(21)을 이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭(D)을 결정해야 한다.

<58> **【수학식 3】** $D > Dm + Db$

<59> 상술한 바와 같은 수학식에 의해 결정되는 다수 개의 다중 줄무늬 패턴 폭으로 이루어진 패턴 필름(21)을 사용하는 경우 다음과 같은 장점들이 있는데, 먼저, 패턴 필름(21)을 이루는 다중 줄무늬 패턴의 이송거리가 짧기 때문에 3차원 측정 장치의 전체적인 크기와 무게 및 제조원가를 현격히 줄일 수 있으며, 해당 패턴 필름(21)의 이송거리가 짧기 때문에 전체적인 측정 시간(즉, 촬영 시간)을 단축할 수 있게 된다.

<60> 또한, 종래에 사용하는 길이가 긴 패턴 필름(21)(즉, 다수의 단일 줄무늬로 이루어진 패턴 필름)에 비해 보다 정밀하게 패턴 필름(21)을 이송할 수 있기 때문에 정밀한 측정 결과를 얻을 수 있는데, 예를 들어, 패턴 필름(21) 이송시 직진 정밀도가 '20 μ m'를 유지해야 하는 경우 종래의 기술에서 적용되는 '350mm' 길이의 패턴 필름(21) 내에서 '20 μ m'의 직진도를 유지하는 것에 비해 본 발명에 의해 적용되는 '50mm' 길이의 패턴 필름(21) 내에서는 '20 μ m'의 직진도를 유지하는 것이 용이하기 때문에 정밀한 측정 결과를 얻을 수 있게 되는 것이다.

<61> 한편, 첨부한 도면 도 6을 살펴보면 각 줄무늬 구간의 경계가 일직선임을 알 수 있지만, 패턴 필름(21)에서 각 줄무늬 구간의 경계가 일직선이더라도 3차원 물체인 측정 대상물(10)에 투영하게 되면 영상에서는 첨부한 도면 도 8과 같이 각 줄무늬 구간의 경계가 곡선으로 나타나

게 되는데, 이와 같이 투영장치와 촬영장치를 잘못 배치하여 촬영된 영상에서 각 줄무늬 구간의 경계가 곡선으로 나타나게 되면 도 3과 같이 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 영상을 추정하는 것이 어려워진다.

<62> 따라서, 본 발명에 따른 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치에서는 촬영된 영상에서 각 줄무늬 구간의 경계가 곡선으로 나타나는 현상을 방지하기 위해 첨부한 도면 도 9에 도시한 바와 같이, 촬영수단(24)을 이루는 카메라의 광축과 투영수단(22)을 이루는 프로젝터의 광축을 패턴 필름(21)의 다중 줄무늬에 수직한 한 평면(P1) 상에 위치시키고, 해당 촬영수단(24)을 이루는 카메라의 렌즈 중심과 투영수단(22)을 이루는 프로젝터의 렌즈 중심을 연결하는 직선(L1)이 패턴 필름(21)이 위치한 평면(P2)과 평행하게 위치시킨다.

<63> 그리고, 본 발명에서 도 6에서와 같은 다중 줄무늬를 투영해서 촬영한 영상들로부터 도 3과 같이 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 추정하는 방법은 각각의 촬영된 영상에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을 조각으로 구분하는 과정과, 패턴 필름(21)의 이송 방향에 따라 구분된 영상의 조각 중에서 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각을 선별하는 과정과, 선별한 영상 조각들을 전/후의 영상 조각들과 합성하여, 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 추정하는 과정을 포함하여 이루어진다.

<64> 첫째로, 각각의 촬영된 영상에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을 조각으로 구분하는 과정에 있어서, 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하는 방법은 크게 물리적인 수치를 이용하여 추출하는 방법과 연속된 영상을 비교하여 추출하는 방법이 있는데, 각각에 대하여 실시예를 참조하여 설명하면 다음과 같다.

<65> 먼저, 물리적인 수치를 이용하여 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하는 방법에서는 패턴 필름(21)의 이송속도(v)와, 연속된 촬영 사이의 시간 간격(Δt)과, 해당 패턴 필름(21)을

이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭(D)과, 투영수단(22)의 배율(Sp)과, 촬영수단(24)의 배율(Sc)을 이용하게 되며, 각 영상에서 첫 번째 경계를 기준으로 하여 다음 번째 경계 위치를 추출하는 식은 아래의 수학적식 4를 이용하게 된다.

<66> **【수학적식 4】** $B(i,j+1)=B(i,j)+D \times Sp/Sc$

<67> 여기서, 'B(i, j+1)'은 i 번째 영상에서 j+1 번째 경계의 위치를 의미하며, 'B(i, j)'는 i 번째 영상에서 j 번째 경계의 위치를 의미한다.

<68> 또한, 연속된 영상에서 동일 경계의 위치는 아래의 수학적식 5를 이용하여 추출할 수 있는데, 여기서, 'B(i+1, j)'는 i+1 번째 영상에서 j 번째 경계의 위치를 의미한다.

<69> **【수학적식 5】** $B(i+1,j)=B(i,j)+(\Delta t \times v) \times Sp/Sc$

<70> 그리고, 상술한 수학적식 4와 수학적식 5에 의해 추출한 각 줄무늬 구간 사이의 경계에 대한 관계는 첨부한 도면 도 10과 같이 예시할 수 있다.

<71> 다음으로, 상술한 바와 같은 물리적인 수치(즉, 수학적식 4와 수학적식 5)를 이용하여 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하기 어려운 경우에는 연속된 영상을 비교하여 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하게 되는데, 이는 첨부한 도면 도 11에 예시한 바와 같이 연속된 두 개의 영상(i 번째 영상과 i+1 번째 영상)에 대해 줄무늬와 수직한 방향으로 각 구간마다 한 줄씩 비교해 보면, 동일 영상을 갖는 구간(O 구간)과, 전혀 다른 영상을 갖는 구간(X 구간) 및 이들 구간 사이에서 모션 블러(motion blur) 현상에 의해 회미한 구간으로 구분할 수 있으며, i 번째 영상에서 다중 줄무늬 구간의 경계는 영상에서 패턴 필름(21)이 이송되는 방향으로 'O 구간'에서 'X 구간'으로 변경되는 사이에 존재함에 따라 해당되는 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출할 수 있게 된다.

- <72> 즉, 연속된 두 개의 영상 중에서 기준이 되는 영상(i 번째 영상)의 줄무늬와 수직인 방향으로 영역을 이동하면서, 각 영역에 대하여 다음번 영상($i+1$ 번째 영상)의 동일 영역에서 밝기 및 색상 정보를 비교함으로써, 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출할 수 있게 된다.
- <73> 그리고, 상술한 바와 같이 물리적 수치를 이용하거나, 연속된 영상을 비교하여 각 줄무늬 구간의 경계를 추출한 후, 추출한 경계를 기준으로 각 영상을 조각으로 나누게 되면, 각각의 줄무늬 구간에 해당되는 영상의 조각을 구분할 수 있게 되는데, 후술하는 설명에서는 편의를 위해 각 줄무늬 구간에 해당되는 영상의 조각에 대해 패턴 필름(21)의 진행 방향에 따라 앞쪽을 앞부분, 뒤쪽을 뒷부분이라고 기재하기로 한다.
- <74> 둘째로, 상술한 과정에 따라 구분된 영상의 조각 중에서 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각을 선별하는 과정을 도 12에 예시한 도면을 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- <75> 즉, 도 12에 예시한 바와 같이, 하나의 영상 조각에 대하여 연속된 영상들에 있어서, 첫 번째 영상 조각의 앞부분과 겹치는 영역이 있는 연속된 각 영상의 조각들을 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각으로 선별하게 된다.
- <76> 셋째로, 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각으로 선별한 영상 조각들을 합성하여, 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 추정하는 과정을 도 13에 예시한 도면을 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- <77> 즉, 도 12에서 선별한 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각들을 합성함으로써 단일 줄무늬를 투영하여 촬영한 경우의 영상을 추정할 수 있는데, 해당 영상 조각들을 합성할 때에는 각 영상 조각들의 영상 좌표를 동일하게 유지한 상태에서 어느 하나의 영상 위에 합성하게

되며, 모션 블러 형상을 제거하기 위해 각 영상 조각 사이에서 겹치는 영역에 대해서는 각 영상 조각의 경계 부분이 아닌 중간 부분에 해당되는 영역을 취하여 합성하게 된다.

<78> 그리고, 해당 연산부(26)는 단일 줄무늬를 투영하여 촬영한 경우의 영상을 추정한 후, 해당 추정 영상들을 조합하여 측정 대상물(10)에 대한 3차원 형상 정보를 얻어내게 된다.

<79> 한편으로, 상술한 실시예는 본 발명의 개념을 설명하기 위해 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 해당되는 영상 전체로부터 추정하여 3차원 형상 정보를 얻어내는 과정으로 설명하였지만, 본 발명의 다른 실시예에서는 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 해당되는 영상 전체로부터 추정하지 않고도 얻을 수 있는데, 예를 들어, 영상을 여러 구간으로 나누고, 각 구간마다 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 추정하여 3차원 형상 정보를 얻어내는 방법도 가능하다.

<80> 또한, 영상을 픽셀(pixel) 단위로 나누고, 각 픽셀에 대해 다른 줄무늬를 투영한 경우의 모든 밝기 및 색상 정보를 추출한 후에 이를 이용하여 3차원 형상 정보를 추출할 수도 있으며, 이는 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 전체적인 영상을 보다 정확히 추정할 수 있도록 한다.

<81> 나아가, 본 발명에 따른 실시예는 상술한 것으로 한정되지 않고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진자에게 자명한 범위내에서 첨부한 특허청구범위에 기재된 내용을 벗어나지 않으면서, 여러 가지의 대안, 수정 및 변경하여 실시할 수 있다.

【발명의 효과】

<82> 이상에서 살펴본 바와 같이, 3차원 측정시 측정 대상물의 전체 영역에 한 번에 투영되는 단일 줄무늬 패턴 대신에 한 번에 다수 개의 줄무늬가 투영되는 다중 줄무늬 패턴을 줄무늬 형태에 따라 이송시키면서 측정 대상물에 투영하여 3차원 측정을 수행하는 본 발명의 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치 및 방법에 따르면, 보다 신속하고 정밀한 3차원 측정이 가능해 지고, 해당 3차원 측정 장치의 전체적인 크기와 무게 및 제조 원가를 줄일 수 있게 됨과 동시에 측정 시간을 단축할 수 있게 된다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

측정 대상물에 줄무늬 패턴을 투영하여 3차원 형상을 측정하는 3차원 측정 장치에 있어서,

3 차원 측정시의 대응성을 제공하기 위해 한 번 촬영시의 다중 줄무늬 패턴을 측정 대상물에 투영하는 투영수단과;

상하 또는 좌우 방향으로 다수 개의 짧은 줄무늬 구간으로 이루어져, 상기 투영수단에서 투영할 다중 줄무늬 패턴을 제공하는 패턴 필름과;

상기 패턴 필름을 줄무늬 방향에 따라 상기 투영수단으로 이송시켜 주는 이송수단과;

상기 투영수단에 의해 다중 줄무늬 패턴이 투영된 측정 대상물을 소정 시간 간격으로 촬영하는 촬영수단과;

상기 투영수단과 이송수단 및 촬영수단의 작동을 제어하는 제어부와;

상기 촬영수단에 의해 촬영된 영상들로부터 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 영상을 추정
한 후, 추정 영상으로부터 3차원 형상 정보를 얻어내는 연산부를 포함하는 것을 특징으로 하는
다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

상기 연산부는, 상기 촬영된 영상에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을
조각으로 구분해서 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각을 선별한 후, 선별한 영상 조각들

을 합성하여 단일 줄무늬를 투영한 경우의 촬영 영상을 추정하는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치.

【청구항 3】

제 1항에 있어서,

상기 촬영수단은, 투영수단의 상단 또는 하단에 위치시키되, 상기 투영수단의 광축과 자신의 광축을 패턴 필름의 다중 줄무늬 패턴에 수직한 평면 상에 위치시키고, 상기 투영수단의 렌즈 중심과 자신의 렌즈 중심을 연결하는 직선이 상기 패턴 필름이 위치한 평면과 평행하게 위치시키는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치.

【청구항 4】

제 1항에 있어서,

상기 패턴 필름을 이루는 짧은 줄무늬 한 구간의 폭은, 측정 대상물의 전체 투영 영역보다는 작고, 상기 이송수단에 의해 이송되는 패턴 필름의 이송 거리(이송수단의 패턴 필름 이송 속도×촬영수단의 연속된 촬영 시간 간격)보다는 길게 하는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치.

【청구항 5】

제 1항 또는 4항에 있어서,

상기 패턴 필름을 이루는 짧은 줄무늬 한 구간의 폭은, 측정 대상물의 전체 투영 영역보다 작고, 상기 패턴 필름의 이송 거리와 모션 블러 현상이 발생하는 구간의 폭(촬영수단의 셔터속도×패턴 필름의 이송속도)을 합산하여 얻은 결과 값보다는 길게 하는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 장치.

【청구항 6】

측정 대상물에 줄무늬 패턴을 투영하여 3차원 형상을 측정하는 3차원 측정 방법에 있어서,

다수 개의 짧은 줄무늬 구간으로 이루어진 패턴 필름을 줄무늬 방향으로 이송시키는 과정과;

상기 줄무늬 방향으로 이송되는 패턴 필름을 측정 대상물에 투영하여 다중 줄무늬 패턴이 투영된 측정 대상물을 소정 시간 간격으로 촬영하는 과정과;

상기 소정 시간 간격으로 촬영한 영상들로부터 단일 줄무늬를 투영하여 촬영한 경우의 영상들을 추정하여, 상기 측정 대상물에 대한 3차원 형상 정보를 얻어내는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 방법.

【청구항 7】

제 6항에 있어서,

상기 패턴 필름을 줄무늬 방향으로 이송시키는 과정에서, 한 번 촬영시의 패턴 필름 이송 거리는 상기 패턴 필름을 이루는 짧은 줄무늬 한 구간의 폭보다 작게 하고, 상기 패턴 필름

의 이송 속도는 상기 패턴 필름을 이루는 짧은 줄무늬 한 구간의 폭을 촬영수단의 연속된 촬영 시간 간격과 셔터 속도를 합산한 값으로 나누어 얻은 결과보다 저속으로 이송시키는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 방법.

【청구항 8】

제 6항에 있어서,

상기 촬영한 영상들로부터 단일 줄무늬를 투영하여 촬영한 경우의 영상들을 추정하여 3차원 형상 정보를 얻어내는 과정은, 다중 줄무늬 패턴을 투영하여 촬영한 영상들에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을 조각으로 구분하는 단계와;

상기 구분한 영상 조각 중에서 동일 줄무늬 구간에 해당되는 영상 조각을 선별하는 단계와;

선별한 영상 조각들을 합성하여 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 방법.

【청구항 9】

제 8항에 있어서,

상기 촬영한 영상들에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을 조각으로 구분하는 단계는, 물리적인 수치인 하기의 수학식을 이용하여 각 줄무늬 사이의 경계를 추출하는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 방법.

$$B(i,j+1)=B(i,j)+D \times Sp/Sc$$

$$B(i+1, j) = B(i, j) + (\Delta t \times v) \times Sp / Sc$$

여기서, 'B(i, j+1)'은 i 번째 영상에서 j+1 번째 경계의 위치를, 'B(i, j)'는 i 번째 영상에서 j 번째 경계의 위치를, 'D'는 패턴 필름을 이루는 다중 줄무늬 한 구간의 폭을, 'Sp'는 투영 배율을, 'Sc'는 촬영 배율을, 'B(i+1, j)'는 i+1 번째 영상에서 j 번째 경계의 위치를, 'Δt'는 연속된 촬영 시간 간격을, 'v'는 패턴 필름의 이송속도를 의미한다.

【청구항 10】

제 8항에 있어서,

상기 촬영한 영상들에서 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하여 영상을 조각으로 구분하는 단계는, 소정 시간 간격으로 연속 촬영한 영상 중에서 기준이 되는 영상의 줄무늬와 수직 한 방향으로 영역을 이동하면서, 각 영역에 대하여 다음번 영상의 동일 영역에서 밝기 및 색상 정보를 비교하여 각 줄무늬 구간 사이의 경계를 추출하는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 방법.

【청구항 11】

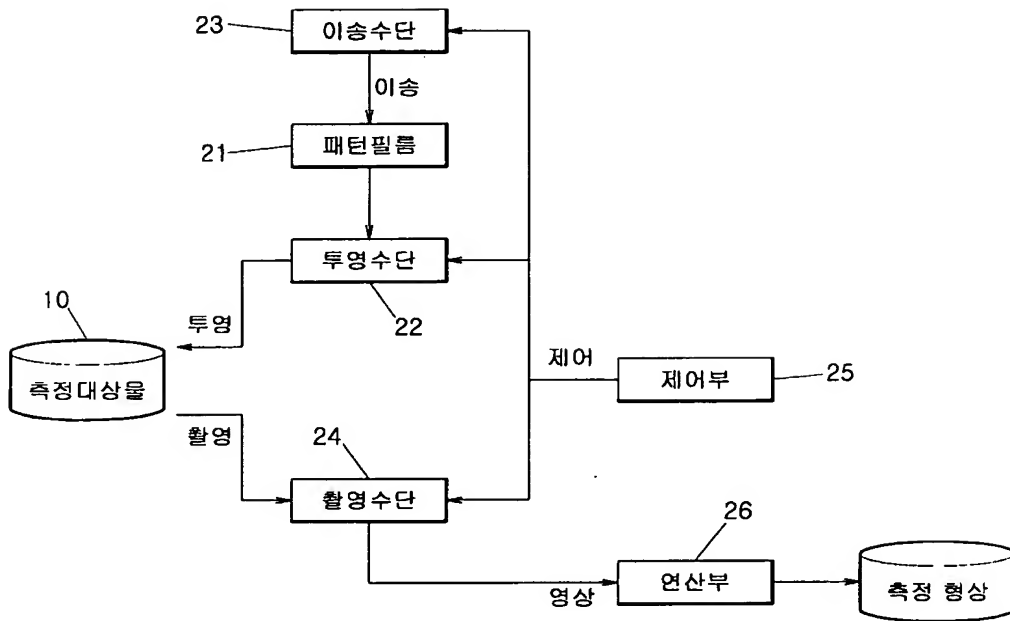
제 8항에 있어서,

상기 선별한 영상 조각들을 합성하여 단일 줄무늬를 투영해서 촬영한 경우의 영상을 추정하는 단계는, 각 영상 조각들의 영상 좌표를 동일하게 유지한 상태에서 어느 하나의 영상 위에 합성하되, 모션 블러 형상을 제거하기 위해 각 영상 조각 사이에서 겹치는 영역에 대해서는

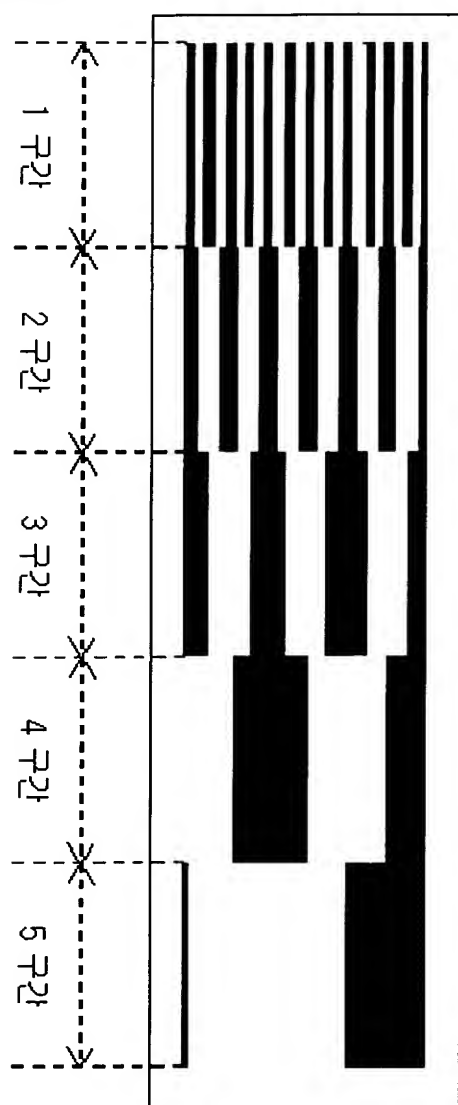
각 영상 조각의 경계 부분이 아닌 중간 부분에 해당되는 영역을 취하여 합성하는 것을 특징으로 하는 다중 줄무늬 패턴을 이용한 3차원 측정 방법.

【도면】

【도 1】



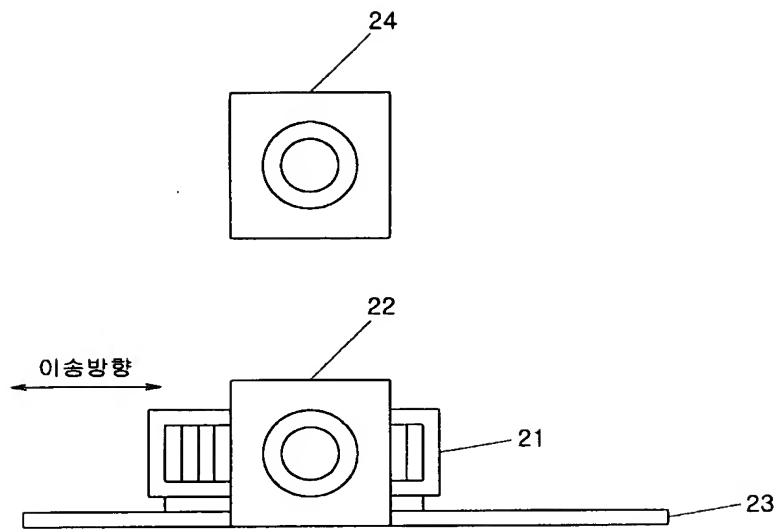
【도 2】



【도 3】

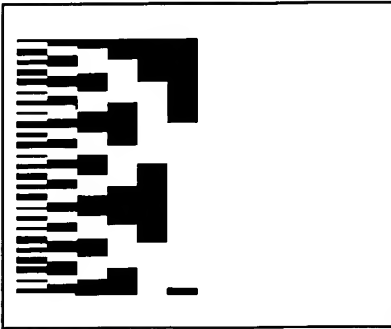


【도 4】

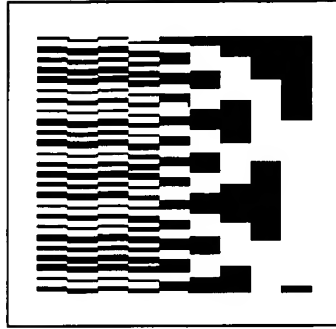


【도 5】

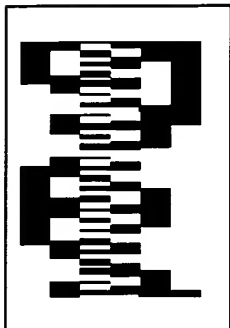
(가)



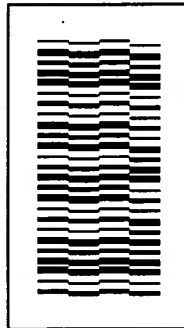
(나)



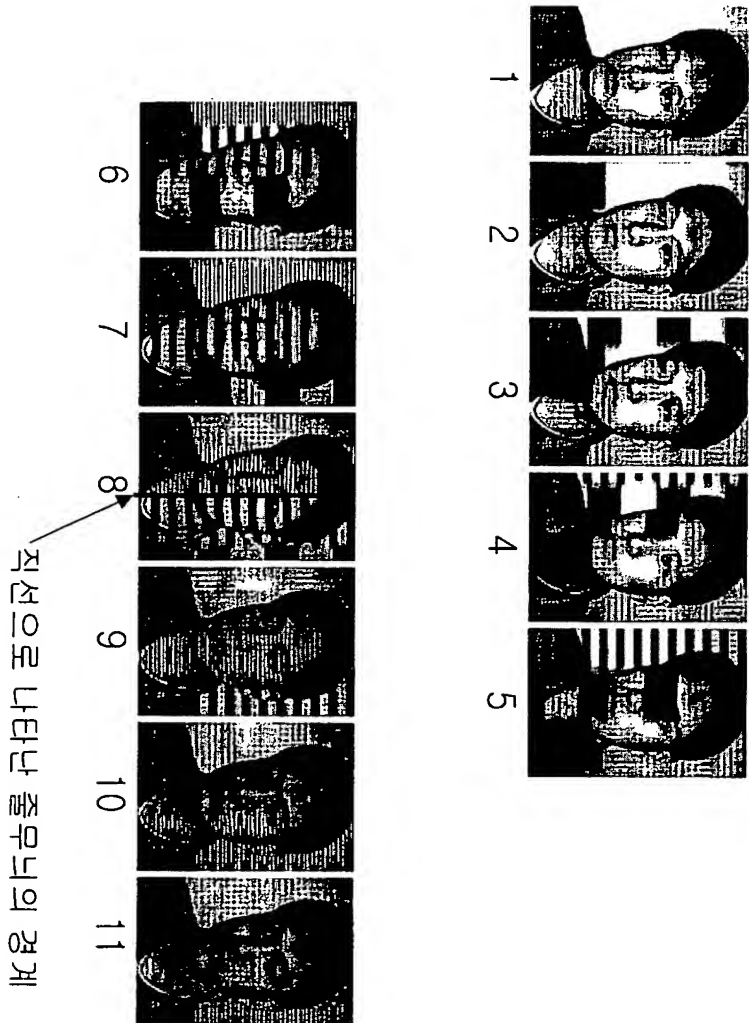
(다)



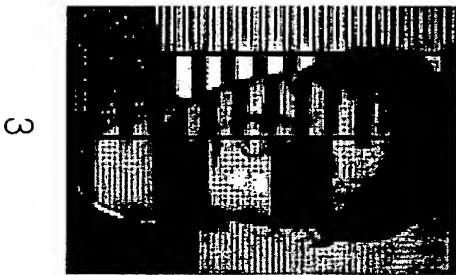
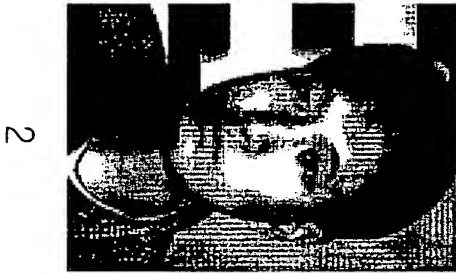
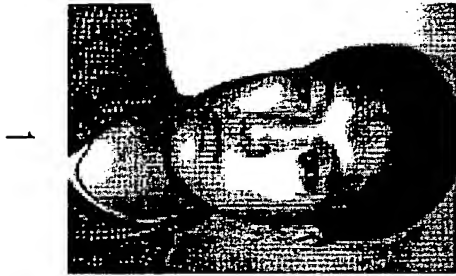
(라)



【도 6】



【도 7】

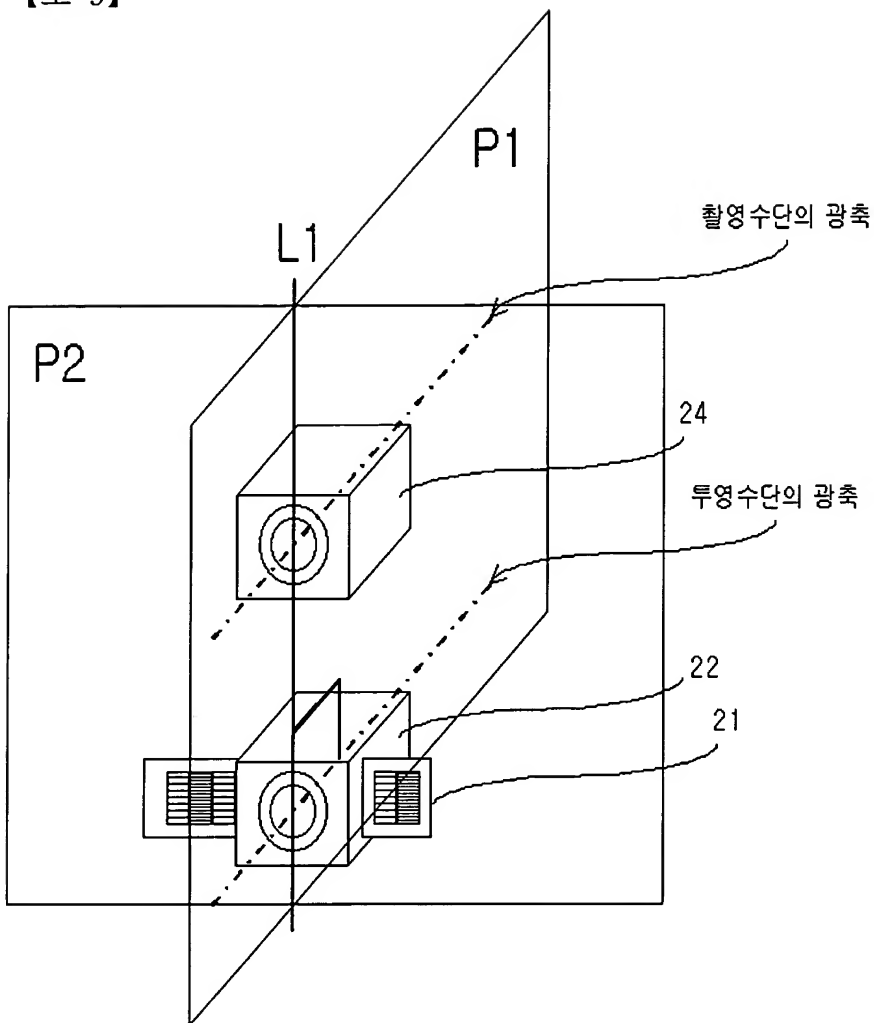


【도 8】

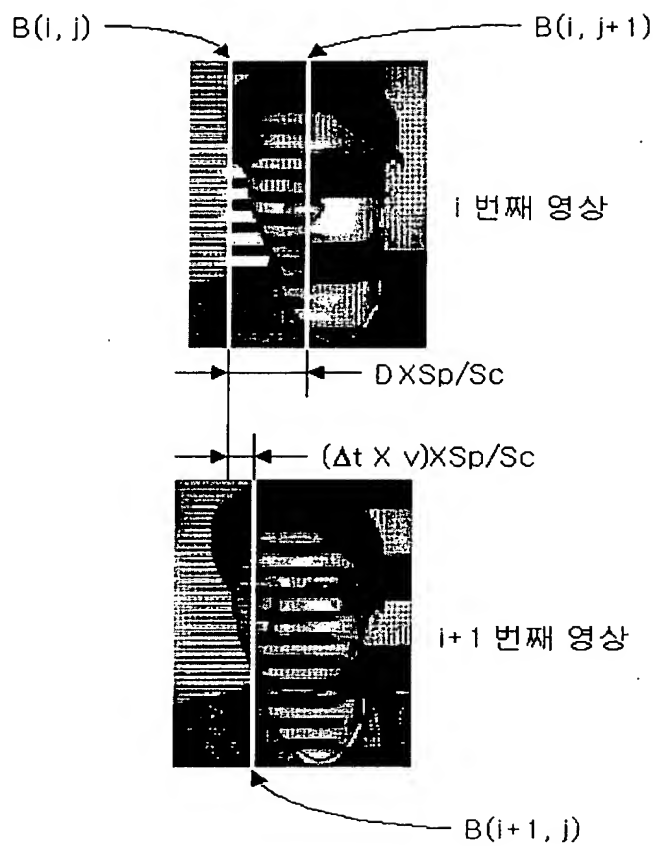
곡선으로 나타난 줄무늬의 경계



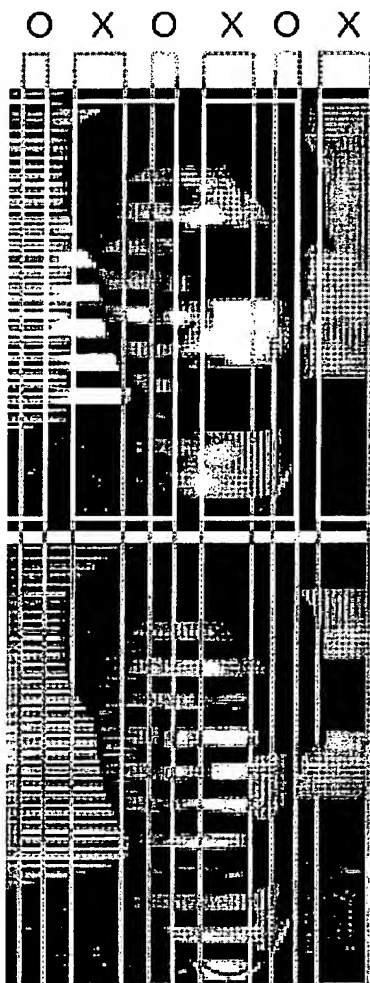
【도 9】



【도 10】



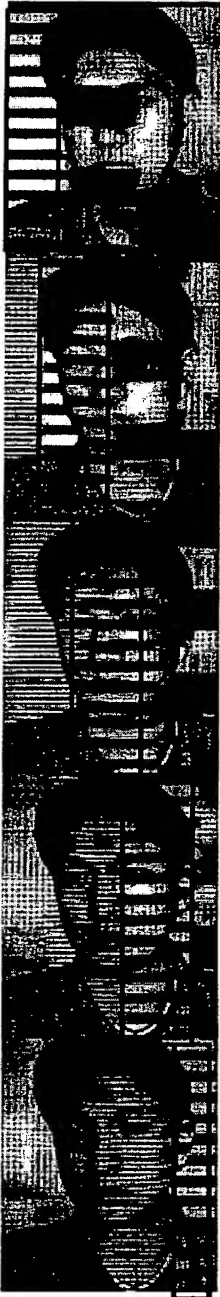
【도 11】



1 번째 영상

1+1 번째 영상

【도 12】



【도 13】

